Lane Medical Library

Aus der II. Medizinischen Klinik der Charité, Berlin.
(Direktor: Geh.-Rat Prof. Dr. Friedrich Kraus.)

Spätwirkungen erschöpfender Muskelarbeit auf den Sauerstoffverbrauch.

III. Mitteilung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an der

Friedrich Wilhelms-Universität
zu Berlin

von

Erich Radtke
aus Berlin.

Tag der Promotion: 12. Juni 1927

Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin. 1927.

Dekan: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Arndt.
Referenten: Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Kraus.
Priv.-Dozent Dr. Herxheimer.

Sonderabdruck
aus „Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin", Band 55, Heft 5/6.

Die vorangegangenen Mitteilungen[1]) haben die Wirkung einer einzelnen erschöpfenden Muskelanstrengung auf den O_2-Verbrauch behandelt. Es wird darin über gleichartige Versuche im Tiefland und im Höhenklima berichtet. In beiden Fällen ergab sich bei einem Teil der Versuchspersonen eine noch nach 24 Stunden nachweisbare Steigerung des O_2-Verbrauches von durchschnittlich etwa 15%. Diese Spätwirkung war in den meisten Fällen zu beobachten und manchmal noch nach 48 Stunden nachweisbar.

In Mitteilung I ist am Schluß bereits ein Versuch mitgeteilt, der den Beginn der weiter unten zu schildernden Untersuchungen darstellt. Es handelt sich hier um die Frage, ob eine in kurzen, etwa 24stündigen Abständen wiederholte, gleichfalls erschöpfende Muskelarbeit ähnliche oder andere Nachwirkungen hervorbringt, als eine einzelne.

Als Versuchsstrecke wurde wieder der 800 m-Lauf gewählt, der bei geeigneter Ausführung Gewähr für eine völlige Erschöpfung der V.-P. bietet. Da bekanntlich die volle Leistungsfähigkeit erst im Wettkampf ausgenutzt wird, die V.-P. in bezug auf Schnelligkeit jedoch nicht gleich waren, mußte die Strecke für die einzelnen V.-P. variiert werden. Es wurden deshalb die schwächeren Läufer mit Vorgaben bis zu 80 m bedacht und dadurch das Wettkampfmoment aufs äußerste gesteigert, da die V.-P. hierdurch zur Hergabe ihres vollen Könnens gezwungen wurden. Wir hielten den 800 m-Lauf deshalb als ganz besonders geeignet für unsere Versuche, weil er den Läufer von Anfang an zwingt, im schärfsten Tempo zu laufen. Eine Erholung während des Laufens ist nicht möglich, der tote Punkt wird bald erreicht, und der Rest der Strecke muß dann unter größter Energieentfaltung zurückgelegt werden. Die Vorgaben waren so gewählt worden, daß sich das

Feld gegen Ende des Laufes sehr zusammenschob. Hierdurch wurde erreicht, daß jede der V.-P. für den Endkampf in Frage kam, und dadurch tatsächlich eine völlige Erschöpfung erzielt wurde. Die Läufe fanden auf verschiedenen Berliner Sportplätzen statt, nämlich im Deutschen Stadion, auf dem Tiergartensportplatz, auf dem Sportplatz des Pol. Sp. V. zu Berlin und auf dem Sportplatz Seydlitzstraße. Der Zustand der einzelnen Laufbahnen war natürlich verschieden gut und auch sehr vom Wetter abhängig, was jedoch die Versuche nicht im geringsten beeinträchtigte, denn es sollte ja keine absolute große Leistung vollbracht, sondern nur eine völlige Erschöpfung erreicht werden. Es wurde bei jedem Wetter gelaufen. Die einzelnen Versuche verteilen sich auf die Monate Januar, August, September und Oktober 1926. Die Bestimmung des O_2-Verbrauches erfolgte mit dem von *Herxheimer*[2]) beschriebenen Spirometer. Die Versuche fanden an im ganzen neun V.-P. statt. Diese waren alle bis auf einen sportlich vorgebildet, jedoch zur Zeit der Versuche nicht trainiert. Die Lebensweise der V.-P. war während der Versuchsperioden in jeder Beziehung gleichmäßig. Anderweitige sportliche Leistungen und stärkere Muskelarbeit wurden nach Möglichkeit vermieden. Soweit die V.-P. nicht durch die früheren Versuche in der Atmung mit dem Respirationsapparat geübt waren, wurden sie durch eine Reihe von Vorversuchen darin ausgebildet. Gleichzeitig wurde bei allen Versuchen der O_2-Verbrauch nach halbstündiger völliger Muskelruhe bestimmt. Die Tageszeit der Laufversuche war im August 1926 vormittags 9 Uhr, in der dritten Versuchsreihe im September 1926 einmal 9 Uhr vormittags, dreimal 1 Uhr mittags, im Oktober 1926 zweimal 9 Uhr vormittags und zweimal 1 Uhr mittags.

Bei den Versuchen im August wurde in der Zeit vom 2. VIII. bis 8. VIII. mit zweitägigem Abstand gelaufen, in der Zeit vom 10. VIII. bis 13. VIII. an vier aufeinander folgenden Tagen. Auch in den beiden folgenden Versuchen vom September und Oktober wurde an vier aufeinander folgenden Tagen gelaufen.

Der Durchschnitt aus den Ruhewerten der Vorversuche wurde als der normale, unbeeinflußte Ruhewert der betreffenden V.-P. angesehen. Er war nicht bei allen V.-P. gleichmäßig. Am gleichmäßigsten sind sie bei Hx., K., Zn., Wo. und R. Bei Hx. ist jedoch im Oktober eine leichte Steigerung des Ruhewertes unverkennbar. Bei dieser V.-P. sind stärkere Steigerungen des Grundumsatzes schon früher beobachtet worden, am stärksten im Winter 1925/26. Sie sind für Hx. wohl als habituell anzusehen. Etwas stärker schwanken die Ruhewerte bei Th., J., Wi. und Zl. Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich darin, daß diese V.-P. noch nicht die mehrmonatige bzw. mehrjährige Übung in Respirationsversuchen hatten, wie die anderen V.-P., und

daß sie infolgedessen nicht so völlige Muskelruhe zu halten imstande waren. Nach Beginn der Laufversuche wurde an jedem Vormittag früh der Sauerstoffverbrauch bestimmt und dies eine Reihe von Tagen nach Aufhören der Läufe fortgesetzt. Die Resultate sind aus folgenden Tabellen ersichtlich:

Tabelle 1.

Grundumsatz im Verlauf der Arbeitsversuche vom 22., 25., 27., 28., 29. I. 1926.
(Zu Versuch 1.)

Nr.	Datum	Wo.		Wi.		Hx.		Zn.		Zl.	
		O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %
	Vortagsdurchschn.	238,1	—	263,5	—	309,5	—	252,4	—	273,2	—
1	23. I.	251,7	6	292,8	11	299,3	—3	262,0	4	276,4	1
2	24. I.	268,5	13	264,0	0	338,5	9	261,4	4	294,2	7
3	25. I.	246,0	3	283,9	8	310,4	0	252,3	0	—	—
4	26. I.	261,5	10	279,6	6	314,2	2	253,6	0	316,5	16
5	27. I.	256,9	8	285,8	9	321,0	4	256,6	2	317,5	16
6	28. I.	243,0	2	270,2	3	335,3	9	257,5	2	277,4	1
7	29. I.	242,0	2	278,4	6	322,7	5	255,4	1	280,6	3
8	30. I.	252,7	6	—	—	344,8	11	254,3	1	289,7	6
9	31. I.	241,3	1	—	—	339,9	10	251,7	0	298,7	9
10	1. II.	242,0	2	253,0	—9	316,9	3	249,1	—1	295,1	8
11	2. II.	240,0	1	273,2	—4	320,1	4	237,8	—6	284,7	4
12	3. II.	240,8	1	299,6	4	299,6	—3	242,9	—4	259,2	—5

Hier treten bei zwei von fünf V.-P. nach dem ersten Lauf deutliche Steigerungen auf, die nach den drei nächsten Läufen nicht mehr vorhanden sind. Bei zwei weiteren V.-P. ist die Steigerung während der ganzen Laufperiode nur unbedeutend, bei der fünften V.-P. (Zn.) überhaupt nicht vorhanden. Diese V.-P. hatte auch nach einzelner Anstrengung die geringsten Steigerungen. Bei zwei der V.-P. treten am Schluß der Laufperiode, d. h. nach dem vierten Lauf, nochmals Steigerungen auf, die 24—48 Stunden anhalten.

Tabelle 2. *Grundumsatz im Verlauf der Arbeitswoche vom 3. VIII. bis 17. VIII. 1926.*
(Zu Versuch 2.)

Datum		K.		Hx.		R.	
		O_2-Werte reduziert	Steigerung in %	O_2-Werte reduziert	Steigerung in %	O_2-Werte reduziert	Steigerung in %
	Vortagsdurchschnitt	259,4	—	255,0	—	209,3	—
3. VIII.	800-m-Lauf	—	—	—	—	—	—
4. VIII.	Ruhewert	266,3	3	271,6	7	214,3	3
5. VIII.	,,	263,7	2	267,5	5	219,4	5
6. VIII.	800-m-Lauf	257,3	—1	245,8	—4	214,8	3
7. VIII.	Ruhewert	258,1	0	269,7	6	230,8	10
8. VIII.	,,	256,4	—1	—	—	218,5	5
9. VIII.	,,	259,2	0	259,4	2	213,6	2

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Datum		K.		Hx.		R.	
		O_2-Werte reduziert	Steigerung in %	O_2-Werte reduziert	Steigerung in %	O_2-Werte reduziert	Steigerung in %
10. VIII.	800-m-Lauf	257,9	—1	265,7	4	214,9	5
11. VIII.	,,	254,5	—2	275,9	8	234,9	12
12. VIII.	,,	261,3	1	270,2	6	225,2	8
13. VIII.	,,	257,6	—1	273,3	7	227,8	9
14. VIII.	Ruhewert	260,7	0	264,6	4	236,4	13
15. VIII.	,,	257,6	—1	—	—	225,5	8
16. VIII.	,,	265,9	2	248,4	—3	227,6	9
17. VIII.	,,	261,2	1	246,2	—4	223,8	7

Hier wurde, da zwei neue V.-P. — K. und R. — teilnahmen, zunächst die Nachwirkung der einzelnen Anstrengung in zwei Versuchen vom 3. und 6. August geprüft. Bei K. war überraschenderweise keine Nachwirkung festzustellen, bei R. war sie im ersten Versuch unerheblich, im zweiten deutlich, bei Hx. in beiden Versuchen deutlich. Der am 10. VIII. beginnende viertägige Laufversuch ergab bei K. wiederum gar keine Veränderung, bei R. und Hx. war die Steigerung sehr deutlich und hielt während der ganzen Laufperiode an. Bei Hx. sank der O_2-Verbrauch schon 24 Stunden nach dem letzten Lauf auf + 4% ab, bei R. betrug er zu dieser Zeit noch + 13%, um dann auf 8% herunterzugehen und dort unter kleinen Schwankungen stehen zu bleiben. Er blieb auch in der ganzen Folgezeit auf diesem höheren Niveau.

Tabelle 3. *Grundumsatz im Verlauf der Arbeitswoche vom 7. IX. bis 15. IX. 1926.* (Zu Versuch 3.)

Datum		K.		Hx.		R.		Th.		J.	
		O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %
	Vortagsdurchschnitt	257,3	—	252,0	—	224,5	—	236,3	—	236,3	—
7. IX.	800-m-Lauf	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8. IX.	,,	257,7	0	277,1	10	238,1	7	246,3	5	227,2	—4
9. IX.	,,	259,2	1	273,7	9	238,8	7	265,1	13	253,1	7
10. IX.	,,	260,5	1	266,7	6	241,9	8	261,2	11	250,1	6
11. IX.	Ruhewert	257,2	0	274,9	9	235,4	5	270,4	15	242,9	3
12. IX.	,,	261,1	2	260,8	3	235,1	5	269,6	15	256,7	9
13. IX.	,,	255,3	—1	256,5	2	223,7	0	245,8	5	246,1	4
14. IX.	,,	258,3	0	249,0	—1	226,1	1	243,0	3	231,7	—2
15. IX.	,,	260,9	1	251,3	0	228,7	2	274,1	17	229,4	—3

An diesem Versuch beteiligten sich zwei neue Versuchspersonen, Th. und J. Der Ausfall dieses Versuches kann als besonders typisch gelten. Bei vier von den fünf V.-P. tritt sofort, bei einer von ihnen erst am zweiten Tag, eine erhebliche Steigerung des Grundumsatzes

bis zu 15% ein. Diese Steigerung bleibt in etwa gleicher Höhe während der ganzen Laufperiode bestehen. 24 Stunden nach dem letzten Lauf ist sie noch bei dreien deutlich vorhanden, ebenso 48 Stunden nachher. Dann verschwindet sie. Die Versuchsperson K. steht wiederum im Gegensatz zu allen anderen. Bei ihr ist keinerlei Steigerung nachzuweisen. Die Versuchsperson Th. machte am 14. IX. einen neuen Laufversuch und reagierte darauf prompt nach 24 Stunden mit einer neuen Steigerung.

Tabelle 4. *Grundumsatz im Verlauf der Arbeitswoche vom 20. X. bis 30. X. 1926.* (Zu Versuch 4.)

Datum		K.		Hx.		Th.		R.		Wi.	
		O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %	O_2-Werte reduz.	Steigerg. in %
	Vortagsdurchschnitt	265,8	—	259,0	—	246,4	—	224,5	—	254,4	—
20. X.	800-m-Lauf	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21. X.	,,	277,9	5	266,1	3	265,7	4	248,6	11	—	—
22. X.	,,	261,5	—2	278,4	7	263,2	7	235,0	5	265,0	4
23. X.	,,	266,0	0	276,5	7	265,1	8	222,3	—1	253,3	0
24. X.	Ruhewert	268,4	1	—	—	254,5	3	228,7	2	—	—
25. X.	,,	267,8	1	279,5	8	250,5	2	231,8	3	267,2	5
26. X.	,,	248,9	—6	279,2	8	238,6	—3	236,1	6	264,4	4
27. X.	,,	262,7	—1	270,8	4	255,2	4	225,6	1	261,2	3
28. X.	,,	266,7	0	265,3	3	—	—	226,8	1	—	—
29. X.	,,	—	—	—	—	—	—	—	—	254,1	0
30. X.	,,	—	—	—	—	254,8	3	—	—	—	—

An diesem Versuch nahmen abermals fünf V.-P. teil. Die Steigerung tritt auch hier wieder ein. Bei Hx. und Th. ist sie allerdings erst nach dem zweiten Lauf deutlich. Bei Wi. ist keine ausgesprochene Veränderung festzustellen. Bei K. dagegen ist zum ersten Male eine Steigerung vorhanden, die allerdings nur nach dem ersten Lauf eintritt und dann verschwindet. Die Steigerung ist gering (+ 5%), aber bei der großen Gleichmäßigkeit der sonstigen Ruhewerte dieser V.-P., die kaum mehr als 1% nach oben und unten schwanken, deutlich. Diese Steigerung ist vielleicht dadurch hervorgerufen, daß sich K. bei dem ersten Laufversuch dieser Periode ganz außergewöhnlich anstrengen mußte, um die Vorgabe seines schärfsten Gegners aufzuholen. Nach Schluß der Laufperiode sinkt bei allen V.-P., bei denen eine Steigerung eingetreten war, der O_2-Verbrauch rasch, schon nach 24 Stunden, ab, nur bei Hx. bleibt die Steigerung länger bestehen.

Erörterung.

Ziehen wir das Fazit aus diesen vier Versuchen, so fällt in erster Linie die große individuelle Verschiedenheit in dem Verhalten der einzelnen V.-P. auf. Die meisten zeigen ganz regelmäßig eine Steige-

rung, so R., Th., Hx., J., Wo., Zl. Bei Wi. sind die Ergebnisse wechselnd. Bei K. und Zn. dagegen tritt eine Steigerung gar nicht oder nur in Ausnahmefällen ein. Gleichzeitig sind dies die V.-P., die die gleichmäßigsten Ruhewerte zeigen. K. zeigt auch nach einzelnen Anstrengungen nur ausnahmsweise eine Steigerung, und diese ist dann äußerst gering und hält nicht an. Zn. zeigt zwar Steigerungen (s. I. Mitteilung), doch sind sie von den V.-P. der damaligen Versuchsreihen am geringsten.

Es scheint also, daß hier zwei konstitutionell verschiedene Typen existieren, von denen der eine eine nachhaltige Wirkung erschöpfender Anstrengung auf den O_2-Verbrauch zeigt, der andere jedoch nicht.

Man wäre nun versucht, diesen Unterschied mit dem Trainingszustand in Verbindung zu bringen, da K. ein vielseitig sportlich geübter und durchtrainierter Mensch ist. Bei Zn. ist dies jedoch ganz und gar nicht der Fall, so daß diese Annahme wohl ausscheiden muß.

Nun zu den übrigen Versuchsergebnissen. Der Vergleich der wiederholten Anstrengung mit der einzelnen in ihrer Nachwirkung hat keinen grundsätzlichen Gegensatz ergeben. In den meisten Versuchen tritt die Steigerung nach der ersten Anstrengung ein und bleibt in etwa gleicher Höhe bis 24 Stunden nach dem letzten Lauf bestehen, um dann langsam abzufallen. In einzelnen Fällen ist die Steigerung schon vor Ablauf dieser 24 Stunden verschwunden. In Versuch I tritt bei zwei V.-P. schon eine Senkung während der Lauftage ein, — aber dies sind vereinzelte Ausnahmen, wie sie sich auch in den früheren Versuchen zuweilen gezeigt haben.

In der weitaus größten Zahl der Versuche verläuft die Nachwirkung der Laufversuche in der gleichen Weise wie nach der einzelnen Anstrengung. Sie besteht während der Laufperiode und sinkt erst 24 bis 48 Stunden nach der letzten Anstrengung ab. Es hat sich hierbei nicht feststellen lassen, daß das fortschreitende Training der V.-P. einer wesentliche Änderung dieser Verhältnisse herbeigeführt hätte.

Bei dieser Gelegenheit sei noch eine Beobachtung registriert, die bei den Laufversuchen gemacht wurde, und die bisher, soweit mir bekannt, nirgends erwähnt ist.

Nach dem Lauf trat bei allen V.-P. ganz regelmäßig ein auffallend starker Speichelfluß auf. Dieser setzte nicht sofort nach Schluß der Anstrengung ein, sondern erst etwa 4—6 Minuten später. Dieses späte Einsetzen war sehr regelmäßig zu beobachten, nachdem wir erst einmal unsere Aufmerksamkeit darauf gelenkt hatten.

Es handelte sich dabei aber nicht nur um Speichelfluß, sondern um vermehrte Bronchialsekretion, die den Auswurf größerer Mengen ziemlich dünnen Schleimes unter Husten bei den keineswegs erkälteten V.-P. zur Folge hatte. Gleichzeitig setzte ein starker Schweißausbruch

ein. Nun ist Schwitzen nach starker Anstrengung ja sicherlich nicht besonders selten. Auffallend war nun aber, daß dieser Schweißausbruch nicht direkt nach dem Lauf, sondern ebenfalls erst nach 3 bis 6 Minuten zugleich mit Speichelfluß und Bronchialsekretion auftrat [s. übrigens auch *Moog* und *Schwieder*[7])].

Im Zusammenhang mit dieser Beobachtung verdient die Tatsache Erwähnung, daß nach anderen, noch nicht veröffentlichten Untersuchungen von *Herxheimer*, *Kost* und *Wissing*[6]) nach solchen Anstrengungen auch eine erhöhte Ausscheidung von Wasser durch die Nieren erfolgt.

Diese Funktionsänderungen in Organen, die ausschließlich vom vegetativen Nervensystem beherrscht werden, legen die Vermutung nahe, daß die großen, im Säure-Basengleichgewicht des Körpers nach erschöpfender Anstrengung auftretenden Schwankungen die Ursache hierfür sind. Daß im Laufe des Trainings eine Umstimmung im vegetativen System in Richtung einer Alkalose auftritt, ist bekannt [*Herxheimer*[3])]. Nun hat *Schenk*[4]) kürzlich darauf hingewiesen, daß die Veränderungen während der Anstrengung selbst (z. B. Tachykardie, Blutdrucksteigerung, Lymphocytose) eine Erregung des Sympathicus vermuten lassen.

Nach unseren jetzigen Beobachtungen läßt sich diese sicherlich berechtigte Annahme ergänzen. Die Sympathicuserregung kann danach nur eine sehr vorübergehende sein. Sie wird sofort, in unmittelbarem Anschluß an die Anstrengung, von einem Überwiegen des Vagusanteils abgelöst, denn der Schweißausbruch und die Speichel-Bronchialsekretion ist ein deutliches Zeichen hierfür. Es liegt nahe, diese Schwankungen in der Funktion des vegetativen Nervensystems mit den Schwankungen in der p_H in Verbindung zu bringen, die nach den Untersuchungen von *Barr*, *Himwich* und *Green*[5]) in etwa gleichen zeitlichen Intervallen auftreten. Danach würde das Auftreten der vagierten Symptome mit dem Wiederanstieg der vorher infolge starker Milchsäurebildung abgesunkenen p_H zeitlich zusammenfallen.

Zusammenfassung.

1. An neun Versuchspersonen wurde die Spätwirkung erschöpfender Muskelarbeit (800-m-Wettlauf), die in 24 stündigen Abständen wiederholt wurde, untersucht.

2. Hierbei wurden bei sieben V.-P. die gleichen Veränderungen wie bei einzelnen erschöpfenden Anstrengungen, nämlich Erhöhung des O_2-Verbrauches bis 24—48 Stunden nach der letzten Leistung, festgestellt.

3. Bei zwei V.-P. traten diese Veränderungen regelmäßig nicht ein. Diese stellen wahrscheinlich einen konstitutionell besonderen Typ dar.

4. Es wird über einige Nebenbeobachtungen berichtet.

Zum Schluß sei es mir gestattet, Herrn Privatdozenten Dr. *Herxheimer* für die Überlassung des Themas und für die tatkräftige Unterstützung bei Ausführung dieser Arbeit, sowie den Herren Kollegen für die freundliche Mitarbeit bei den einzelnen Versuchen meinen besten Dank auszusprechen.

Literaturverzeichnis.

[1]) *Herxheimer, Wissing* und *Wolff*: Zeitschr. f. d. ges. exp. Med., **51** u. **52**. 1926. — [2]) *Herxheimer, H.*: Dtsch. med. Wochenschr. 1925, Nr. 28. — [3]) *Herxheimer, H.*: Zeitschr. f. klin. Med., **98**. 1924; **103**. 1926. — [4]) *Schenk*: Sitzungsber. d. Ges. z. Förd. d. ges. Nat.-Wiss., Marburg 1925, Nr. 2. — [5]) *Barr, Himwich* u. *Green*: Journ. of biol. chem., **55**. 1923. — [6]) *Herxheimer, Kost* und *Wissing*: Zeitschr. f. d. ges. physikal. Therapie. 1927. — [7]) *Moog* und *Schwieder*: Klin. Wochenschrift. 1926, S. 48.

Lebenslauf.

Am 29. Januar 1899 wurde ich, *Erich Albert Radtke*, in Berlin geboren. Ich bin preußischer Staatsuntertan und erhielt meine Gymnasialbildung auf dem Jahn-Realgymnasium in Berlin-Lichtenberg, welches ich im Jahre 1920 mit dem Zeugnis der Reife verließ.

Ich entschloß mich, Medizin zu studieren und bezog die Universität Berlin. Am Ende des Wintersemesters 1922/23 legte ich dort die medizinische Vorprüfung ab und im Mai 1926 bestand ich das Staatsexamen.